ALLEGATO 1

Franco Filippazzi

“Sistemi di Distribuzione di elaborazione: una introduzione”

Prima Edizione

Sistemi distribuiti di elaborazione: (*) una introduzione

FRANCO FILIPPAZZI
Honeywell Information Systems Italia
Milano

1. Introduzione

La concezione dei sistemi di elaborazione ha registrato una dinamica continua, con trasformazioni profonde in cui si intrecciano componenti scientifiche, tecniche, economiche e organizzative. Questa complessa evoluzione può essere schematizzata, in prima approssimazione, nelle fasi indicate in fig. 1.

All'inizio, i sistemi di elaborazione sono decentrati e senza alcuna capacità di comunicazione. L'elaboratore è una entità a se stante ("stand alone"), il cui uso è possibile solo accedendo direttamente al luogo dove è installata la macchina.

Criteri di economia di scala conducono in uno stadio successivo (circa metà degli anni '60) a criteri di accentramento delle risorse elaborative. Si sviluppano pertanto calcolatori di grosse dimensioni e contemporaneamente prende piede la tele-elaborazione come correttivo alla centralizzazione. L'utente finale può accedere all'elaboratore da lontano, mediante terminali remoti collegati via linea telefonica. I terminali sono però semplici organi di ingresso/uscita, senza capacità di elaborazione, rimanendo tutta l'"intelligenza" concentrata nel grosso elaboratore centrale.

Verso il 1970, l'avvento dei mini-computer induce nelle organizzazioni un riflusso di decentralizzazione. I mini significano infatti una notevole potenza di elaborazione ad un prezzo relativamente basso, tanto da rientrare nei limiti di autorizzazione dei livelli divisionali. I mini si diffondono quindi nell'organizzazione, sfuggendo al controllo del centro di calcolo. È la cosiddetta "rivolta dei mini", un tentativo dell'utente finale di superare la lentezza e la rigidità del servizio centralizzato, acquisendo una propria capacità elaborativa. Anche questa soluzione mostra però i suoi limiti, perchè ogni computer necessita in generale dei dati forniti dai computer di altre parti dell'organizzazione.

Si arriva così all'ultima fase dell'evoluzione, quella dei sistemi distribuiti. Se prescindiamo dalle realizzazioni sperimentali avvenute nell'ultimo decennio, questa fase si apre sostanzialmente con gli anni '80.

L'informatica distribuita si presenta come un momento di sintesi delle concezioni precedenti, come una soluzione capace di conciliare l'antitesi centralizzazione/decentralizzazione.

Un sistema distribuito è infatti concepito come un insieme di unità dotate di capacità operativa autonoma e al tempo stesso in grado di scambiare mutuamente dati e risorse elaborative attraverso una rete di comunicazione. L'"intelligenza" risulta distribuita nel sistema, non però in un'ottica autarchica, ma di cooperazione ed integrazione delle risorse.

2. Motivazioni dell'approccio distribuito

Da un punto di vista "filosofico", si potrebbe dire che l'informatica distribuita rappresenta la correzione di una tendenza che ha caratterizzato l'elaboratore dalla sua origine ad oggi, cioè la crescita continua di complessità. Questo fenomeno è attribuibile, sostanzialmente, a tre fattori:

- il progresso della tecnologia, che mettendo a disposizione elementi sempre meno costosi, meno ingombranti, più affidabili, ne ha incoraggiato l'impiego;
- i criteri di economia di scala, che hanno spinto alla centralizzazione dell'elaborazione ed a macchine sempre più potenti;
- le nuove "dimensioni" acquisite via via dall'informatica (dalla mono alla multiprogrammazione, dal batch all'interattività, dal sistema indivisibile al time-sharing, e così via).

Tutti questi fattori hanno concorso a rendere l'elaboratore sempre più complesso e quindi sempre più difficile da progettare, da co-

(*) *Presentato al 28° Congresso Internazionale per l'Elettronica, Roma, marzo 1981.*
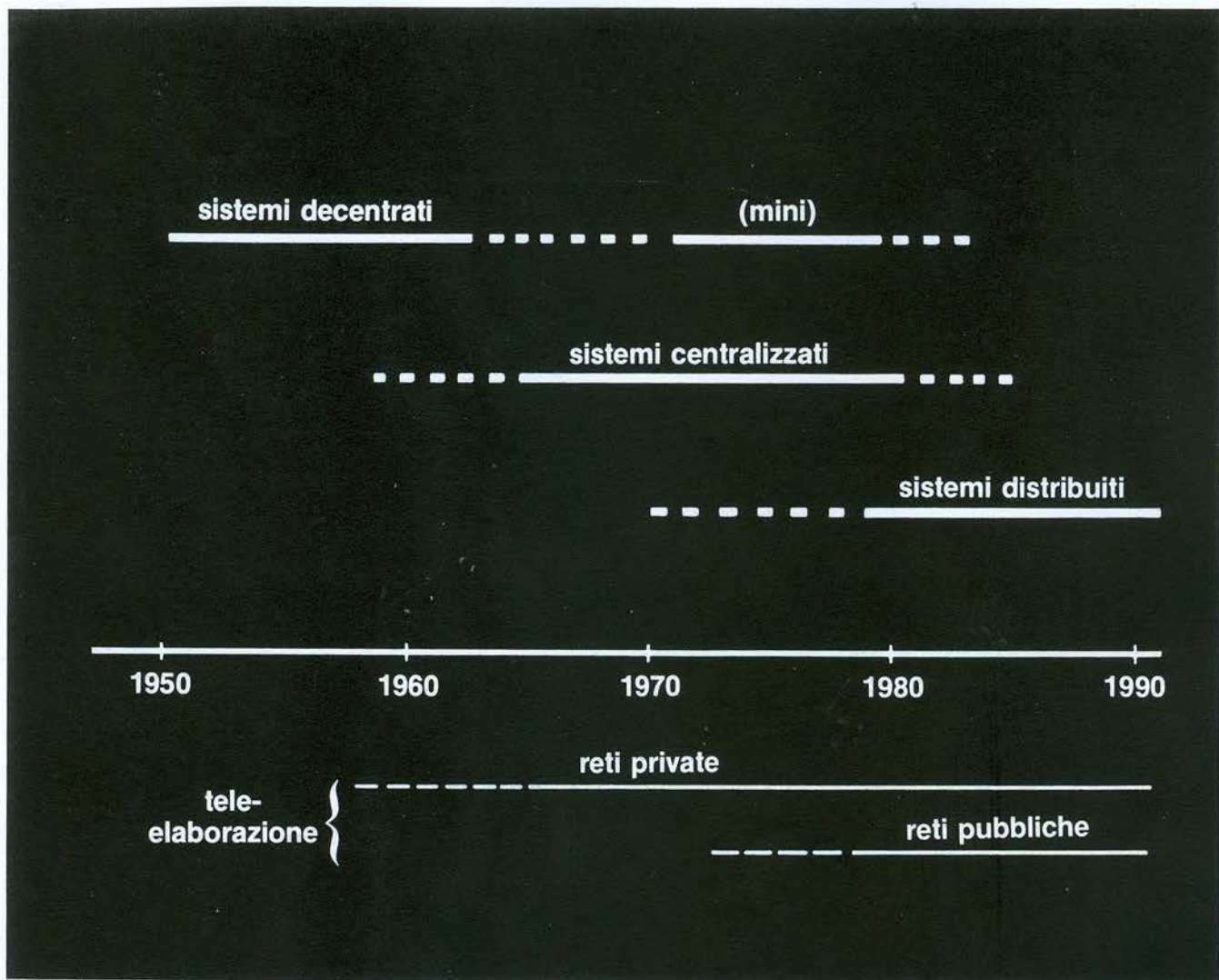
Fig. 1 - Stadi evolutivi dei sistemi di elaborazione.

struire, da collaudare, da riparare, da usare. Questo processo non può continuare indefinitamente, per non arrivare alla "barriera della complessità". Il concetto di sistema distribuito costituisce, sotto questo profilo, una opportuna inversione di tendenza.

Se questo può essere un modo piuttosto astratto di interpretare la svolta verso i sistemi distribuiti, non mancano in materia argomentazioni più precise.

1) L'evoluzione tecnologica, grazie in particolare alla microelettronica, ha consentito di realizzare in piccoli o piccolissimi volumi (mini/microcomputer) rilevanti potenze di calcolo a costi estremamente ridotti, rendendo fattibile una distribuzione capillare della "intelligenza".

Parallelamente, anche il settore delle comunicazioni è progredito, realizzando nuove tecniche di trasmissione, quali la commutazione di pacchetto, che offrono nuovi livelli di efficienza e di qualità del servizio.

Comparativamente però, l'evoluzione dei costi è stata assai più veloce nel settore dell'elaborazione che in quello della trasmissione. Nel primo si è registrato infatti un tasso di riduzione che arriva al 25% annuo, contro un 11% medio del secondo [1]. Il fenomeno è descritto qualitativamente nella fig. 2, che mostra come col tempo si siano invertiti i pesi economici unitari della elaborazione e della trasmissione dei dati. Tale andamento se prima forniva elementi a favore della elaborazione centralizzata, onde ridurne il costo mediante economie di scala, giustifica ora la strategia opposta, cioè l'elaborazione locale, onde minimizzare il volume e quindi il costo della comunicazione.

2) La centralizzazione postulava economie di scala non solo in termini di macchine ma anche di risorse umane. Questi concetti avevano trovato la loro sintesi nella "legge di Grosh", secondo cui l'efficienza operativa cresce col quadrato del costo dell'elaboratore. Questa impostazione non è ora ritenuta più valida, non solo a causa dell'evoluzione tecnologica prima citata, ma anche per una revisione dei criteri organizzativi. La legge di Grosh trova infatti i suoi limiti nella "legge di Parkinson", secondo cui la produttività di una organizzazione aumenta con il logaritmo delle risorse disponibili [2]. La
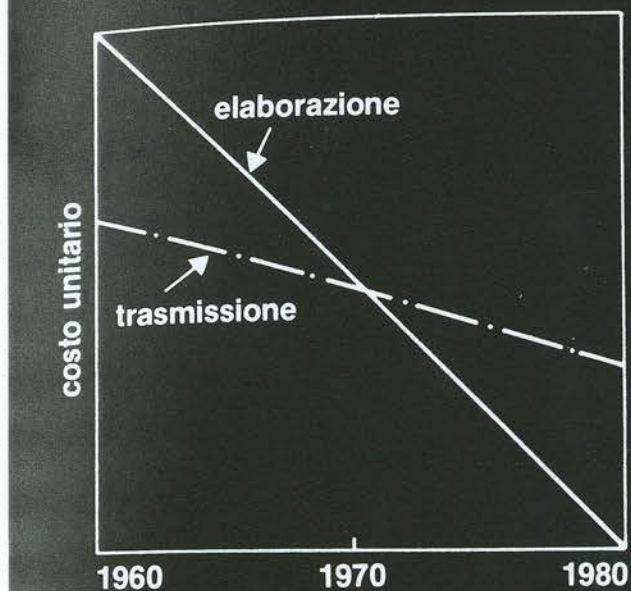
Fig. 2 - Evoluzione del costo di elaborazione e trasmissione dati.
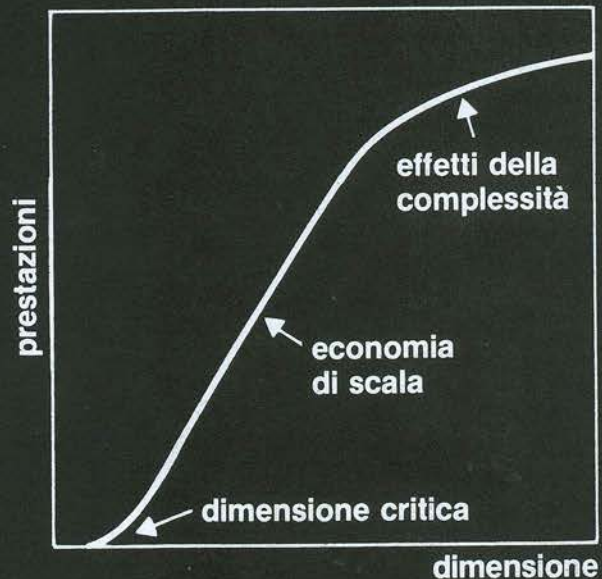
Fig. 3 - Relazione tra prestazioni e dimensione del sistema.

fig. 3 descrive qualitativamente il fenomeno, che implica l'abbandono della centralizzazione tout-court e l'orientamento verso soluzioni di tipo policentrico.

3) L'approccio distribuito consente un salto qualitativo nell'uso dell'informatica.

- Il fatto stesso che le funzioni vitali del sistema non siano concentrate, conferisce alle strutture distribuite una intrinseca "tolleranza al guasto". Il verificarsi di un tale evento non provoca infatti l'arresto del sistema, ma solo una riduzione delle sue prestazioni ("fail-soft"). Per ottenere risultati paragonabili con sistemi centralizzati sarebbe necessario introdurre costose ridondanze. Oltre a ciò, un sistema distribuito è chiaramente meno vulnerabile rispetto ad evenienze catastrofiche, naturali o dolose che siano.
- Essendo l'elaborazione effettuata di norma nel posto stesso di utilizzazione, ne consegue un deciso miglioramento delle prestazioni globali del sistema (tempo medio di risposta, throughput) rispetto al caso di elaborazione centralizzata.
- L'utente finale di un sistema distribuito può usare risorse di cui sarebbe proibitivo disporre in qualunque altra soluzione. Le capacità di elaborazione, i programmi e i dati esistenti nel sistema sono infatti, in linea di principio, patrimonio comune di tutti gli utenti.

Queste considerazioni, che pur non esauriscono l'argomento, sono sufficienti a mostrare come l'approccio distribuito costituisca un reale superamento delle soluzioni precedenti, in linea con l'evoluzione della tecnologia e dei criteri di impiego della risorsa informatica.

3. Tassonomia dei sistemi distribuiti

Il concetto di sistema distribuito presenta una notevole varietà di interpretazioni ed è perciò opportuno fissare le idee.

Un primo criterio di classificazione può essere basato sulla *estensione spaziale* del sistema stesso. Si può in questo senso parlare di tre classi di sistemi distribuiti, come mostrato nella tabella che
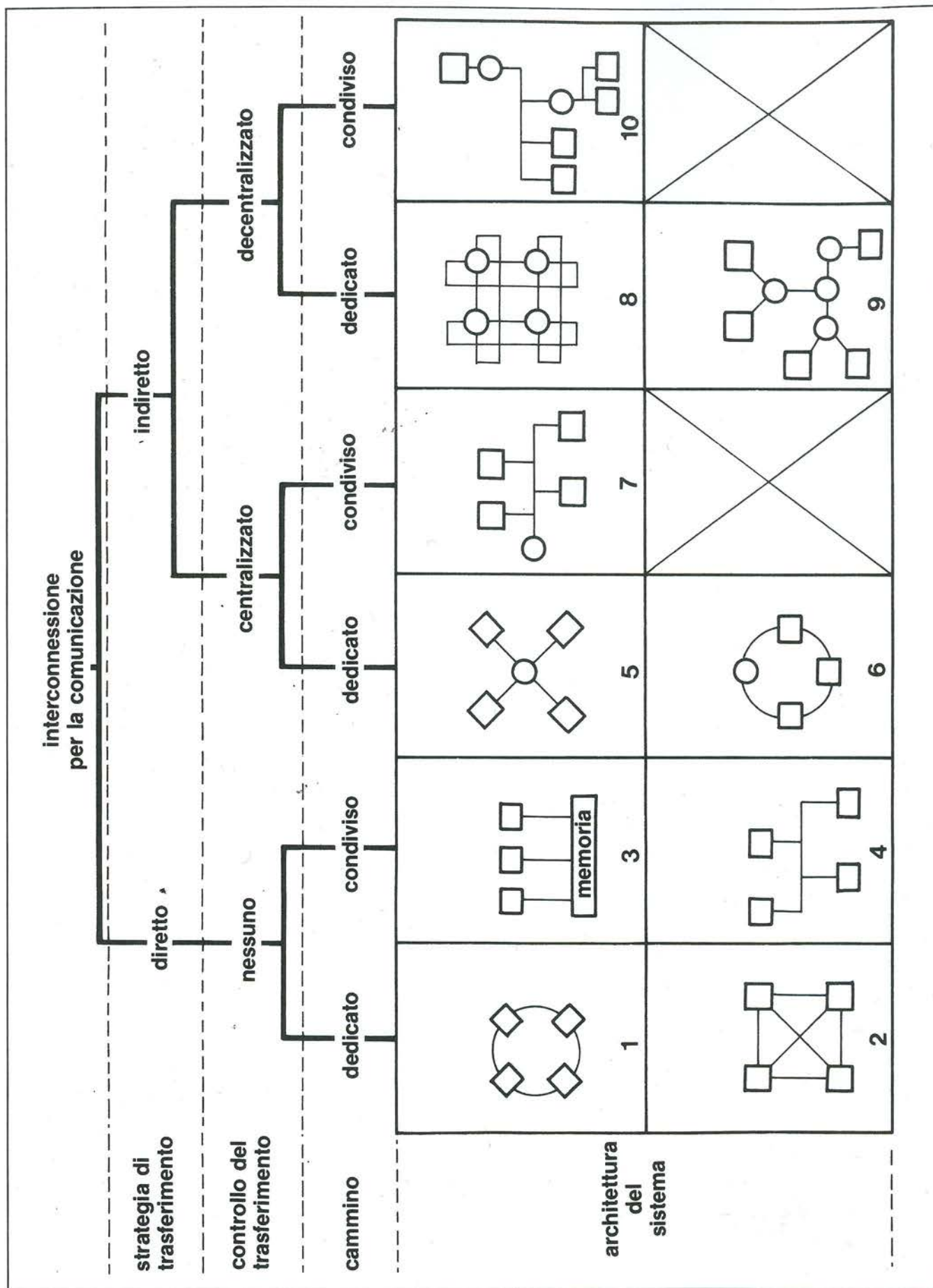
Fig. 4 - Tassonomia dei sistemi distribuiti di elaborazione, in base al metodo di comunicazione.

segue:

Sistema distribuito	Distanza (m)	Veloc. trasf. (bit/sec)
Distribuzione funzionale	<10	10^7-10^9
Distribuzione locale	10-1000	10^4-10^7
Distribuzione geografica	>1000	10^3-10^5

La "distribuzione funzionale" interessa la struttura interna del calcolatore. In sostanza, l'unità di elaborazione (CPU) viene realizzata mediante una pluralità di microelaboratori tra loro cooperanti (CPU "multiprocessor"). La comunicazione tra i moduli del sistema è digitale, presenta elevato parallelismo ed avviene mediante connessioni multiple stampate o cablate.

La "distribuzione locale" fa riferimento a sistemi estesi ad aree limitate, quali possono essere un edificio o gruppi di edifici. La comunicazione tra le varie unità del sistema è tipicamente digitale e seriale su filo o cavo.

La "distribuzione geografica" si riferisce a sistemi sparsi su ampie aree territoriali. La trasmissione è analogica o digitale ed i mezzi impiegati possono essere molteplici, dalla linea telefonica al satellite di comunicazione.

I sistemi della prima classe sono generalmente "ad accoppiamento stretto", nel senso che i vari processor hanno in comune la memoria di lavoro; i sistemi distribuiti localmente o geograficamente sono invece tipicamente "ad accoppiamento lasco", ed in essi lo scambio dei dati comporta un più complesso formalismo.

Se prescindiamo dalla caratteristica spaziale del sistema, esistono altre categorizzazioni possibili a seconda che il concetto di distribuzione sia riferito alle risorse di *elaborazione*, ai *dati* o al *controllo* del sistema.

Un sistema distribuito può essere definito tale se almeno una delle entità citate è distribuita. Una definizione quale proposta da Enslow [3], che includa tutti e tre gli aspetti, è teoricamente rigorosa ma risulta molto restrittiva poichè, in tale accezione, non esisterebbero attualmente veri sistemi distribuiti.

Con riferimento alle risorse di elaborazione, una categorizzazione interessante è quella proposta da Anderson e Jensen [4], che esamina il sistema dal punto di vista della comunicazione (trattamento dei messaggi tra i processor e topologia di interconnessione dell'hardware).

Il modello dà luogo ad un albero, le cui foglie corrispondono a possibili topologie di sistema. Ciò è illustrato nella fig. 4, nella quale i quadrati rappresentano gli elementi di elaborazione mentre i cerchi sono elementi di commutazione. Si hanno le seguenti strutture:

1. ad anello
2. ad interconnessione completa
3. multiprocessor con memoria comune
4. lineare
5. a stella
6. ad anello con controllo centralizzato
7. lineare con controllo centralizzato
8. a maglia regolare
9. a maglia irregolare
10. lineare con finestra

Pur presentando alcune limitazioni, il modello di Anderson e Jensen fornisce tuttora la più valida tassonomia dei sistemi distribuiti. Esso costituisce un utile strumento per analizzare dieci fondamentali concezioni di sistema, permettendo di compararne le più importanti caratteristiche (throughput, modularità, sensibilità al guasto, ecc.) e di identificarne i punti di forza e di debolezza.

Anche se praticamente tutte le alternative previste dal modello sono state realizzate (molto spesso solo in unico esemplare), quelle probabilmente destinate ad avere maggiore seguito sono, a seconda le caratteristiche dell'applicazione, la struttura ad anello (1), a stella (5), a bus (4) ed a maglia irregolare (9). Quest'ultima è la soluzione dominante per i sistemi distribuiti geograficamente e ad essa ci si riferisce nel linguaggio comune quando si parla di "reti di calcolatori".

Se passiamo ora a considerare la distribuzione dei dati, occorre anzitutto dire che l'esistenza di basi di dati nei vari nodi del sistema non costituisce di per sè una "base di dati distribuita". Questa si ha solo se tali archivi sono tra loro correlati logicamente o funzionalmente, in modo da costituire un'unica collezione di dati. In un sistema così fatto, un qualsiasi programma utente può accedere, in modo uniforme e trasparente, ai dati esistenti nei vari punti del sistema. La base di dati può essere soltanto ripartita tra i vari nodi oppure replicata mediante copie parziali (fig. 5), con la possibilità di soluzioni miste. La scelta va fatta in base alle caratteristiche che si desiderano ottenere (tempo di risposta, sicurezza, costo, ecc.) a livello sistema.

Le basi di dati distribuite costituiscono un tema ampio e complesso. I problemi derivano non solo dalle difficoltà tecniche, che pure sono elevate, ma spesso anche dal fatto di dover tenere conto di soluzioni esistenti, quasi sempre tra loro inomogenee. Per queste ragioni, la diffusione di basi di dati distribuite non procede velocemente, anche se non mancano ormai esempi significativi di realizzazione.

Passando infine a considerare il controllo del sistema, questa è certamente la caratteristica più difficile da distribuire. Negli attuali sistemi distribuiti il controllo delle risorse di elaborazione e della base di dati è sostanzialmente di tipo centralizzato o gerarchico. Ciascun componente della struttura è cioè controllato dai membri di livello superiore, ed il controllo complessivo risiede in un nodo centrale, che possiede la visibilità dello stato globale del sistema.

A questa concezione "verticale" del controllo, si oppone quella distribuita od "orizzontale". In un si-
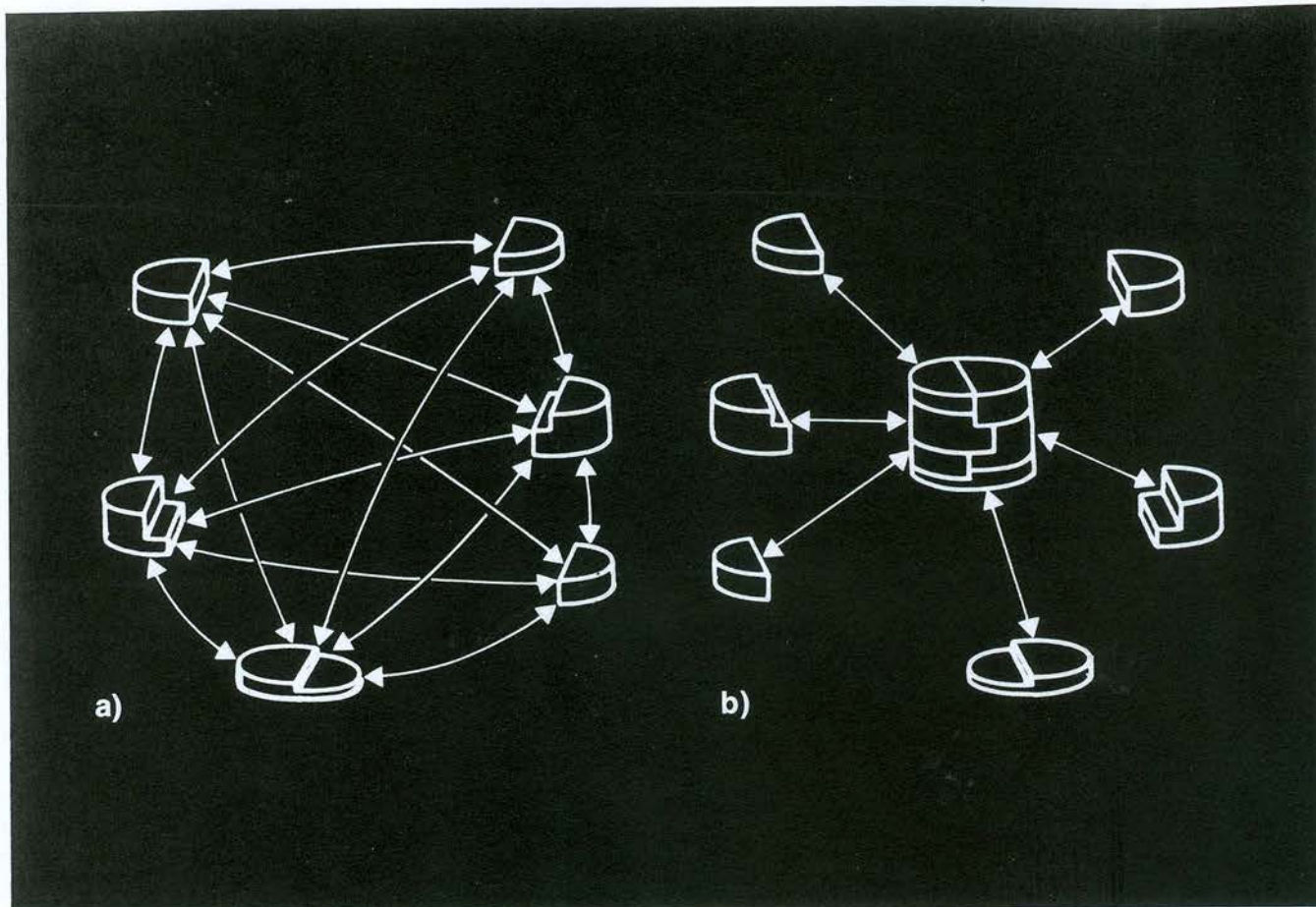
Fig. 5 - Distribuzione dei dati:
a) base di dati ripartita,
b) base di dati replicata.

stema con controllo distribuito, i vari nodi partecipano alla esecuzione dei compiti su un piano di parità logica. Il ruolo di ciascun nodo commuta dinamicamente tra quello di "padrone" e quello di "schiavo" (master/slave) ed il flusso dei dati tra due nodi avviene sotto il controllo di quello che originariamente ha stabilito il collegamento.

L'obiettivo fondamentale che ci si propone con un controllo distribuito è di rendere il sistema meno vulnerabile rispetto al guasto di una singola parte, evento che può risultare invece paralizzante in un sistema distribuito con controllo centralizzato o gerarchico.

La distribuzione del controllo è un problema di grande difficoltà teorica, poichè implica la creazione di un "sistema operativo distribuito", capace cioè di controllare il sistema nel suo complesso senza la conoscenza di alcuna variabile globale del sistema. È questa un'area ancora ampiamente aperta alla ricerca ed alla sperimentazione.

4. L'architettura dei sistemi distribuiti

Se si considera un qualsiasi sistema distribuito, si distinguono tre aree fondamentali, rispettivamente di utente, di elaborazione e di comunicazione, come illustrato in fig. 6.

La sottorete di comunicazione è qui intesa come quella infrastruttura che permette il collegamento tra le varie unità che sono ad essa allacciate.

La sottorete di comunicazione costituisce un punto fermo del sistema, nel senso che elaboratori e terminali ad essa connessi cambieranno generalmente col tempo, ma la rete rimarrà, anche se espandendosi e modificandosi. Elaboratori e terminali dovranno quindi adeguarsi agli standard della rete di comunicazione, pubblica o privata che sia, e non viceversa.

È evidente da ciò, la grande importanza di standardizzare un insieme di caratteristiche dei sistemi di elaborazione, affinchè ad una rete possano essere collegati senza difficoltà apparati di qualsiasi tipo, dimensione e provenienza, ed essi possano tra loro colloquiare.

L'insieme delle discipline cui attenersi per costruire un sistema di elaborazione, a partire dai moduli hardware e software disponibili, viene usualmente designato come l'"*architettura*" del sistema. Questa definizione è valida in generale e si applica quindi anche al caso che il sistema di elaborazione sia distribuito.

Un fondamento concettuale comune a tutte le architetture distribuite esistenti è la *struttura a strati* (fig. 7).

L'insieme delle funzioni del sistema è suddiviso in strati, o livelli, organizzati gerarchicamente. Gli strati di livello superiore utilizzano le funzioni fornite da quelli in-
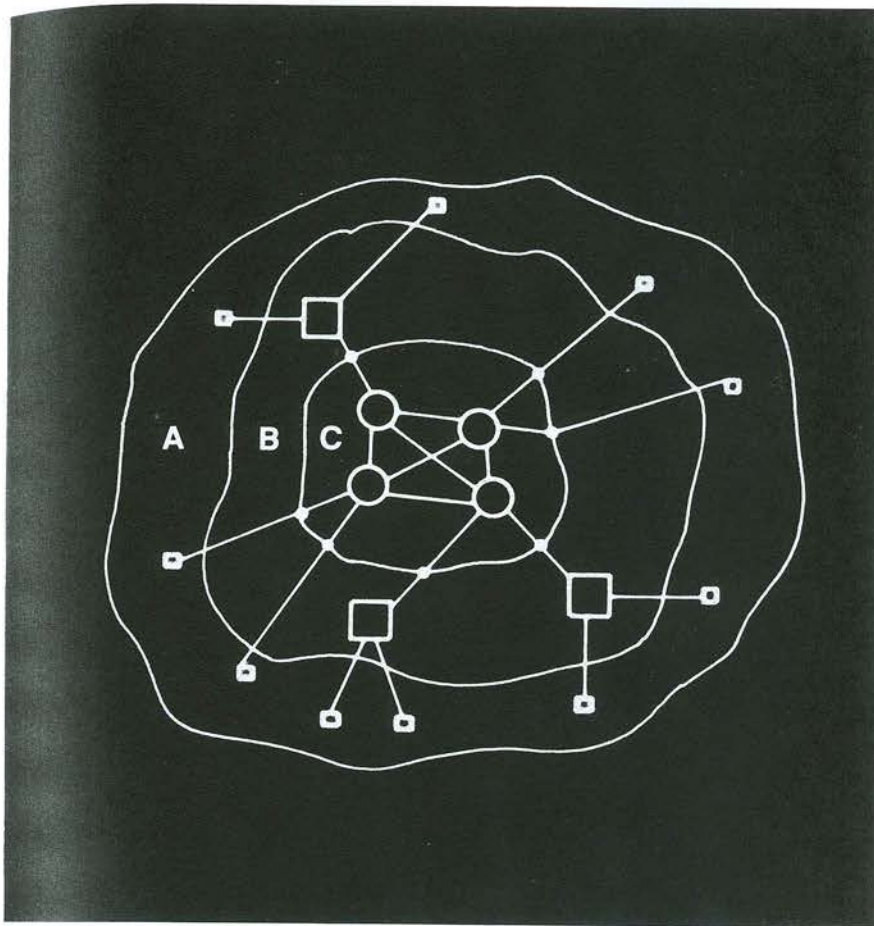
Fig. 6 - Le tre reti fondamentali:
a) rete di utente,
b) rete di elaboratori,
c) sottorete di comunicazione.

feriori per costruire una funzionalità crescente ed un maggior livello di astrazione. Ogni strato presenta delle "interfacce" precise, che garantiscono il coordinamento e il controllo del flusso dei dati con gli strati adiacenti. Inoltre, ogni strato può dialogare con lo strato di pari livello di altre unità, seguendo un insieme di regole e convenzioni ben definite, chiamate "protocolli". Durante tale dialogo, gli strati a livello inferiore risultano "trasparenti".

Il vantaggio fondamentale della impostazione a strati consiste nella possibilità di isolare le funzionalità dei vari strati e quindi di consentire modifiche al loro interno senza dover intervenire sul resto della struttura.

L'architettura di un sistema distribuito risulta quindi essere, in definitiva, l'insieme organizzato di funzioni, interfacce e protocolli, attraverso cui elaboratori e terminali, quando interconnessi in una rete, possono operare in modo coordinato.

Allo stato delle cose, esiste tutta una varietà di architetture distribuite, generate dai principali costruttori di elaboratori. Si ha così lo SNA (System Network Architecture) della IBM, il DSA (Distributed System Architecture) della Honeywell, il DCA (Distributed Communication Architecture) della Univac, e così via. Tutte queste architetture sono, in pratica, tra loro incompatibili. (*)

Gli enti internazionali di normalizzazione, quali il CCITT, l'ISO, ecc. stanno lavorando da anni su standard per sistemi distribuiti. Attualmente si registra una convergenza di consensi sul modello di architettura proposto originariamente dall'ISO (International Standard Organization) e noto come OSI ("Open Systems Interconnection Reference Model") [6].

Questo modello, come mostrato in fig. 8, definisce 7 strati per l'accesso alle comunicazioni. (Nella figura è indicata anche l'esistenza di strati superiori, per l'accesso alla base di dati, che non sono però ancora definiti).

Come si è già detto, l'adesione agli standard proposti è finora scarsa e comunque limitata ai tre livelli inferiori della architettura. Ad essi si riferisce, ad esempio, lo standard CCITT/ISO X-25 per le reti a commutazione di pacchetto, che pure, di fatto, non risulta inserito in diverse note architetture.

La meta della ampia diffusione di architetture "aperte" appare ancora lontana, a causa più di ragioni commerciali e industriali che non strettamente tecniche. Non mancano tuttavia prese di posizione in tale direzione; ad esempio, lo standard OSI è stato incorporato nella architettura DSA della Honeywell.

(*) La connessione di sistemi non compatibili è possibile introducendo specifici adattatori ("gateway"). È questa evidentemente una soluzione di ripiego.
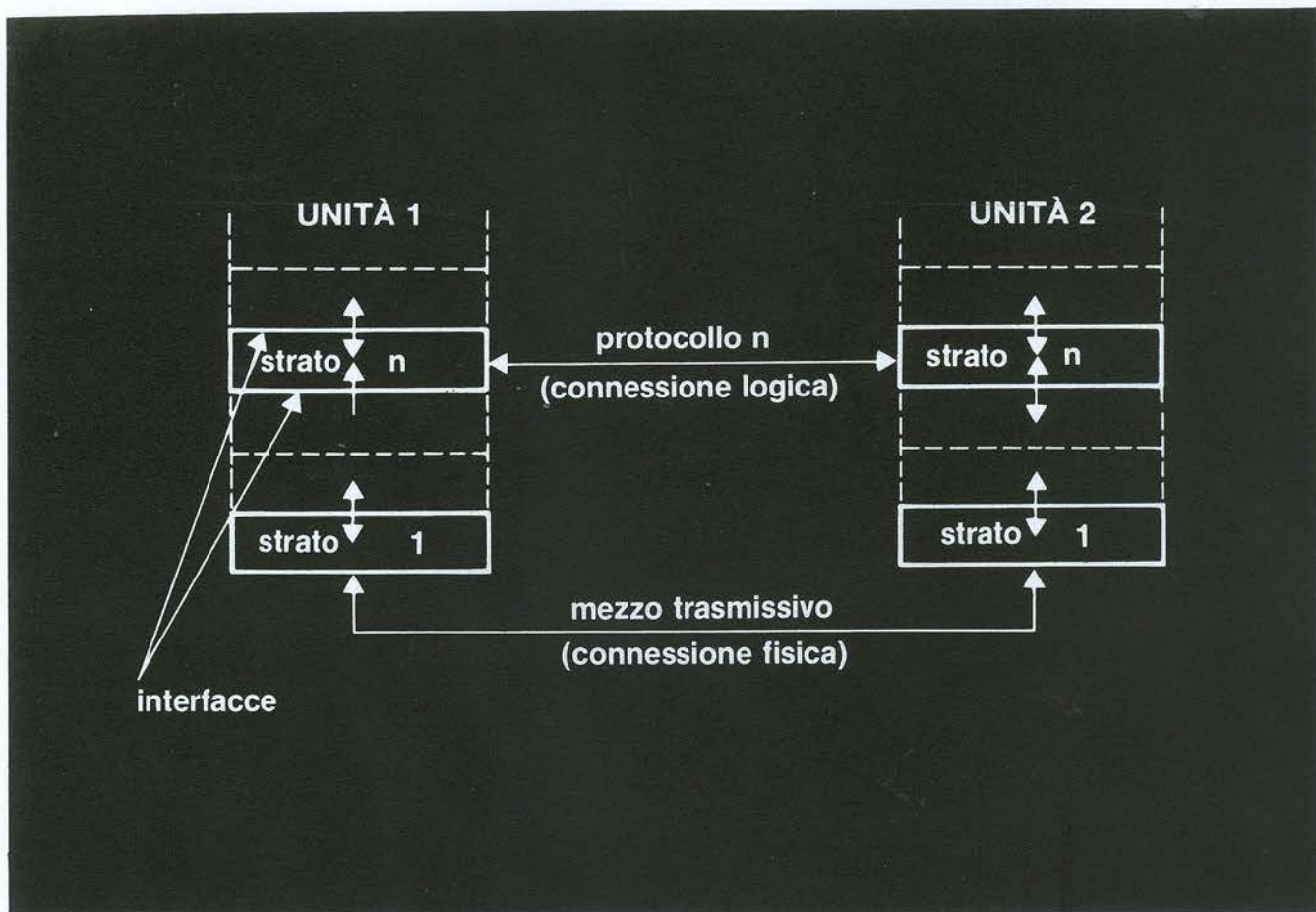
Fig. 7 - Architettura a strati.

5. Le prospettive

Gli anni '70 hanno costituito sostanzialmente la fase di ricerca e di sperimentazione dei sistemi distribuiti, anche se sono ormai numerosi gli esempi di realizzazioni ad opera di università, industrie e grandi utenti, in USA soprattutto ma anche in Europa.

Anche l'Italia ha partecipato a questa evoluzione di fondo dell'informatica. Si può citare, ad esempio, la partecipazione nel progetto di reti continentali, quali l'Euronet; lo sviluppo di progetti di reti locali; la realizzazione di elaboratori con struttura distribuita, arrivati in un caso (DPS 4) alla fabbricazione di larga serie. Tra le iniziative in atto, è da citare il programma Compunet, nell'ambito del Progetto finalizzato informatica del CNR, cui partecipano università ed industrie, col coordinamento del CREI.

Gli anni '80 si presentano ora come la fase di espansione dei sistemi distribuiti, anche se ciò avverrà ancora in modo graduale, dato il numero e la complessità dei problemi coinvolti.

Un problema di fondo è quello degli standard architetturali. Come già accennato, si può dire che una standardizzazione è stata raggiunta, in pratica, solo per i protocolli a livello più basso, quelli cioè che servono per interagire con la sottorete di comunicazione. Lo standard CCITT (incluso nel modello ISO) si è imposto sostanzialmente per il fatto che del CCITT fanno parte le amministrazioni PT di tutto il mondo. La necessità di allacciarsi alle reti pubbliche forza quindi i costruttori ad adeguarsi a tale normativa.

Il problema è invece del tutto aperto per quanto concerne i protocolli di livello più alto, quelli cioè che consentono l'interazione tra processi utente. Non esiste in questo caso una concreta spinta alla standardizzazione, anzi giocano in senso contrario interessi e politiche aziendali. La standardizzazione in questo ambito si prospetta pertanto di difficile attuazione.

Complessivamente quindi, la diffusione di architetture "aperte" va vista in un'ottica di tempi lunghi.

A questo tipo di vincolo, si deve aggiungere il fatto che la progettazione di un sistema distribuito rimane un lavoro molto complesso. La varietà di soluzioni alternative su come configurare il sistema, allocare e dimensionare le risorse, realizzare l'opportuno livello di integrità e riservatezza dei dati, definire una adeguata diagnostica del sistema (che eviti, tra l'altro, palleggiamenti di responsabilità tra il gestore della rete e il fornitore delle apparecchiature di elaborazione), e così via, rendono arduo il processo di ottimizzazione del sistema. In questa luce, indubbia importanza continuerà ad avere la ricerca di metodologie e di strumenti di progettazione, così come
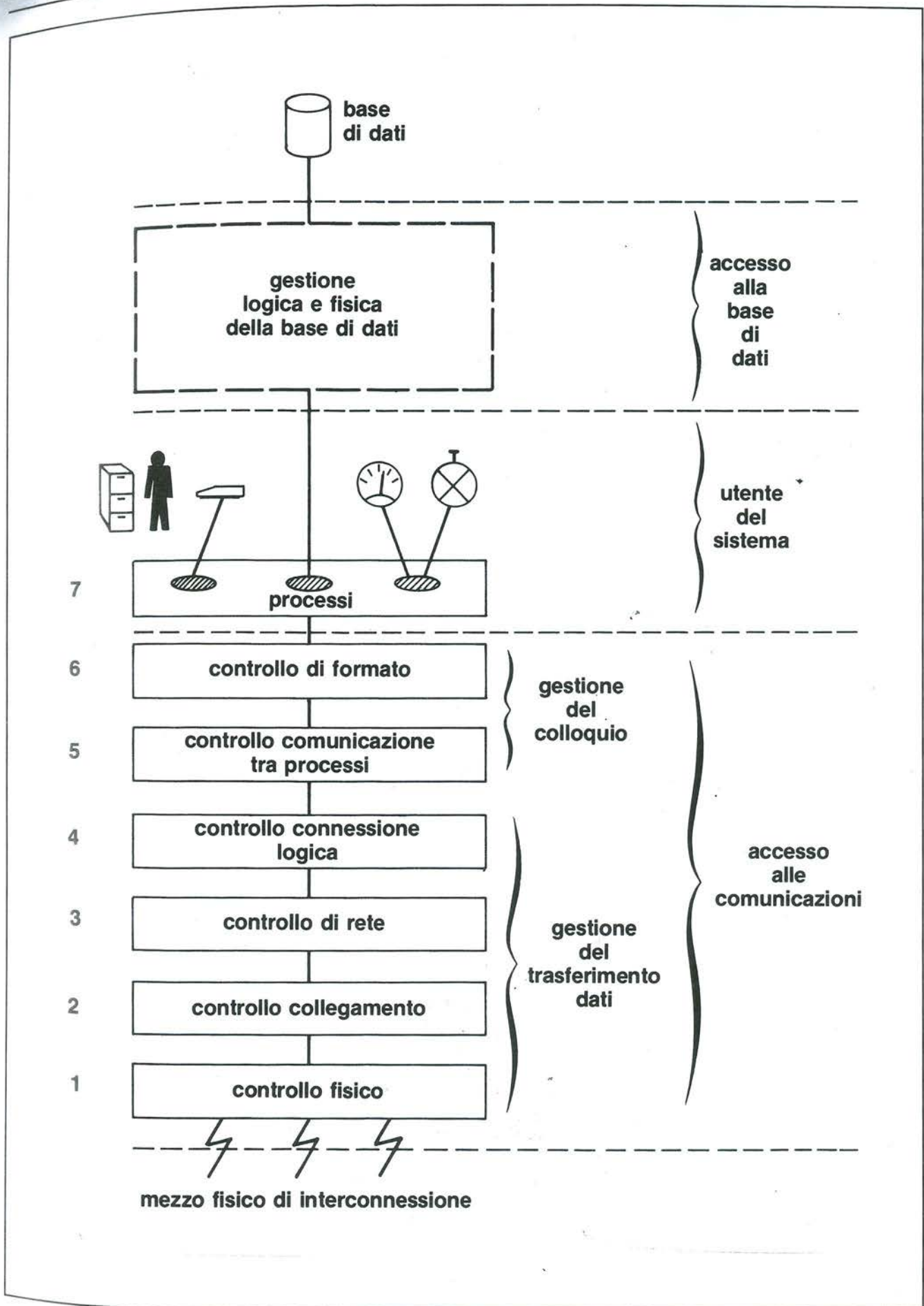
Fig. 8 - Modello di architettura di sistemi distribuiti (OSI).

un ruolo cruciale avranno le attività di formazione.

A monte di tutto ciò, lo sviluppo dei sistemi distribuiti è condizionato, ovviamente, dalla esistenza di adeguate infrastrutture di comunicazione, in particolare del tipo a commutazione di pacchetto. L'Italia, a questo riguardo, sta tuttora registrando un sensibile ritardo. Se dai problemi e condizionamenti passiamo alle prospettive, si possono individuare alcune principali linee di sviluppo.

La tecnologia, specie la microelettronica, eserciterà ancora una enorme influenza sullo sviluppo dei sistemi distribuiti. Si può citare, in particolare, il progressivo trasferimento in hardware di funzionalità architetturali oggi realizzate in software.

Ad esempio, si prevede a non lunga scadenza, la realizzazione dell'intero protocollo X-25 in un singolo "chip" di semiconduttore. Si potranno quindi inserire ampie capacità di colloquio anche in apparecchiature di piccole dimensioni e basso costo. Questa possibilità porterà verso una distribuzione capillare della elaborazione, a livello "personale", con apparecchiature inseribili sulla rete di comunicazione mediante una spina, come si fa per l'energia elettrica ("information outlet", la presa informatica).

Sotto un profilo sistemistico, si può dire che nei prossimi anni si andrà verso una "vera" distribuzione dell'intelligenza, cioè verso sistemi in cui il termine distribuito si applica contemporaneamente alle risorse di elaborazione, alle basi di dati ed al controllo.

Un ulteriore orientamento è costituito dalla integrazione nel sistema di tutte le varie forme di comunicazione (testi, dati, voce, immagini). In particolare, nel caso di una azienda ciò significa l'integrazione nella rete di una varietà di funzioni oggi viste separatamente (telex, fac-simile, word processing, ecc.), nonchè di servizi svolti finora mediante altri supporti fisici (es. electronic mail) o addirittura inesistenti (es. teleconferencing).

Il sistema distribuito di elaborazione diventa in tal modo la piú importante risorsa aziendale e come tale andrà pianificato e gestito.

Una ulteriore possibile evoluzione riguarda il concetto di rete pubblica di comunicazione. La nozione di VAN (Value Added Network) potrà cambiare nel senso che il "valore aggiunto" della rete tenderà ad aumentare.

Rappresentativo di questa linea di tendenza, oggi limitata agli USA, è il sistema ACS (Advanced Communication Service) della ATT, attualmente in fase di sviluppo. Si tratta di una rete di comunicazione "superintelligente", che si prende carico di molte funzioni tipiche della rete di calcolatori, sollevandone l'utente.

Il progetto della ATT si inquadra nel nuovo contesto legislativo USA, che ha liberalizzato i settori delle telecomunicazioni e dell'informatica, consentendo ad aziende dell'un settore di entrare nell'altro. In questo quadro di reciprocità, si inserisce il lancio (novembre 1980) del primo satellite di comunicazione della IBM, attraverso la partecipazione al SBS (Satellite Business System). C'è materia per prevedere un duello tra giganti sul terreno, ormai comune, della telematica.

A prescindere dalle strategie industriali, una domanda che viene fatto di porsi è: Quale è il posto migliore per collocare determinate funzioni? Nella rete di comunicazione, negli host computer, nei concentratori o in terminali intelligenti costruiti con microprocessori? La risposta a questa domanda è molto difficile perchè legata alla proiezione di tutta una serie di fattori, che vanno dai costi dell'hardware e del software, allo sviluppo delle reti, all'evoluzione dei servizi.

Ciò che si può dire con sicurezza è che l'incontro (che, come si è visto, contiene anche una dialettica di scontro) tra informatica e telecomunicazioni costituisce un evento di eccezionale portata che apre realmente una nuova epoca, quella della "società dell'informazione".

6. Bibliografia

[1] L. M. BRANSCOMB, "*Computing and Communication - A perspective of the evolving environment*", IEE Compcon, Sept. 1979.

[2] G. OCCHINI, "*L'informatica nella gestione aziendale*", Ed. F. Angeli, 1980.

[3] P.H. ENSLOW, "*What is a Distributed Data Processing System?*", Computer, Jan. 1978.

[4] G.A. ANDERSON, E.D. JENSEN, "*Computer Interconnection: Taxonomy, Characteristics and Examples*", ACM Computer Surveys, Dec. 1975.

[5] P.E. GREEN, "*An Introduction to Network Architecture and Protocols*", IEEE Trans. on Communication, Apr. 1980.

[6] H. ZIMMERMAN, "*OSI reference model - The ISO Model of Architecture for Open System Interconnection*", IEEE Trans. on Communication, Apr. 1980.